


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
_____ системного анализа и управления
наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины
 _____ *Задорожний В.Г.*
подпись, расшифровка подписи
_____.____.2021г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.06 Методы возмущений в управлении нелинейными системами

_____ *Код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом*

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

01.03.02 Прикладная математика и информатика

2. Профиль подготовки/специализация: *Динамические системы и управление*

3. Квалификация выпускника: _____ *бакалавр* _____

4. Форма обучения: _____ *очная* _____

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: _____

системного анализа и управления

6. Составители программы: _____ *Белоусова Е.П., к.ф.-м.н., доцент* _____

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

7. Рекомендована: *Научно-методическим советом факультета прикладной математики, информатики и механики (протокол № 10 от 15.06.2021)*

_____ *(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола,*

_____ *отметки о продлении вносятся вручную)*

8. Учебный год: _____ *2023/2024* _____

Семестр(ы): _____ *6* _____

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- знакомство с основными методами, применяемыми для исследования периодических и ограниченных на всей числовой оси решений нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений,

- знакомство с методом малого параметра, методом усреднения и методом фазовой плоскости

для формирования умений и навыков использования современных математических и компьютерных методов в задачах анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления; проведения работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований; выполнения экспериментов и оформления результатов исследований и разработок.

Задачи учебной дисциплины:

- обучить исследованию поведения фазовых траекторий при различных значениях параметров, получению предельные циклы;

- обучить проведению исследования классической (сверхжесткой) автоколебательной системы (осциллятор Ван дер Поля);

- обучить построению периодических решений и диаграммы Айнса-Стретта для уравнения Матье;

- сформировать навыки сбора, обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов и исследований в соответствующей области знаний;

- сформировать навыки анализа научно-техническую информацию, касающуюся передового отечественного и зарубежного опыта решения задач в области профессиональной деятельности;

- сформировать навыки составления отчетов (разделов отчетов) по теме или по результатам проведенных экспериментов;

- сформировать практические навыки использования современных технологий и пакетов прикладных программ для решения задач анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления;

- сформировать навыки и умения осуществления правильного выбора алгоритма и средств его реализации при решении задач управления и оптимизации.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к базовому циклу. Для её успешного освоения требуется знание основных разделов курса математического анализа, дифференциальных уравнений.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований.	ПК-1.1	Обеспечивает сбор, обработку, анализ и обобщение результатов экспериментов и исследований в соответствующей области знаний.	Знать: открытые источники информации и специализированные базы данных. Уметь: проводить информационный поиск для решения исследовательских задач. Владеть: методами решения исследовательских задач с использованием открытых источников информации и

				специализированных баз данных.
		ПК-1.2	Анализирует научно-техническую информацию, касающуюся передового отечественного и зарубежного опыта решения задач в области профессиональной деятельности.	Знать: информацию по тематике исследований. Уметь: анализировать и обрабатывать информацию по тематике исследований. Владеть: методами анализа и обработки информации по тематике исследований.
ПК-3	Способен осуществить выполнение экспериментов и оформить результаты исследований и разработок.	ПК-3.3	Составляет отчеты (разделы отчетов) по теме или по результатам проведенных экспериментов.	Знать: отчеты, обзоры, рефераты по тематике проводимых исследований. Уметь: составлять отчеты, обзоры, рефераты по тематике проводимых исследований. Владеть: техникой составления отчетов (разделы отчетов) по теме или по результатам проведенных экспериментов.
ПК-4	Способен использовать современные математические и компьютерные методы в задачах анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления.	ПК-4.1	Использует современные технологии и пакеты прикладных программ для решения задач анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления.	Знать: современные технологии и пакеты прикладных программ. Уметь: использовать современные технологии и пакеты прикладных программ для решения задач анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления. Владеть: современными технологиями и пакетами прикладных программ для решения задач анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления.
		ПК-4.3	Правильно выбирает алгоритм и средства его реализации при решении задач управления и оптимизации.	Знать: задачи управления и оптимизации. Уметь: выбирать алгоритм и средства его реализации при решении задач управления и оптимизации. Владеть: правилами выбора алгоритм и средства его реализации при решении задач управления и оптимизации.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.(в соответствии с учебным планом) — 144 / 4.

Форма промежуточной аттестации(зачет/экзамен) экзамен

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		6 семестра		...
Аудиторные занятия	48	48		
в том числе:	лекции	16	16	
	практические	16	16	

	лабораторные	16	16		
Самостоятельная работа					
в том числе: курсовая работа (проект)		60	60		
Форма промежуточной аттестации (экзамен – __ час.)		36	36		
Итого:		144	144		

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1.1	Основные сведения теории колебаний.	Теория колебаний – один из разделов прикладной математики. Московская, ленинградская, киевская, горьковская и другие школы по теории колебаний.	Методы возмущений в управлении нелинейными системами Б1.В.06
1.2	Свободные колебания.	Свободные колебания. Вынужденные колебания. Параметрические колебания. Самовозбуждающиеся колебания (автоколебания).	Методы возмущений в управлении нелинейными системами Б1.В.06
1.3	Фазовый портрет, особые точки.	Фазовый портрет. Метод фазовой плоскости. Особые точки на фазовой плоскости. Индекс Пуанкаре особой точки.	Методы возмущений в управлении нелинейными системами Б1.В.06
1.4	Вынужденные колебания, вопрос устойчивости.	Вынужденные колебания систем с нелинейной восстанавливающей силой. Уравнение Дуффинга. Явление скачка. Вопросы устойчивости	Методы возмущений в управлении нелинейными системами Б1.В.06
1.5	Уравнение Ван-дер-Поля, теория Пуанкаре-Бендиксона, метод Андронова.	Элементы теории динамических систем на плоскости. Теория Пуанкаре-Бендиксона. Предельные циклы. Метод Андронова.	Методы возмущений в управлении нелинейными системами Б1.В.06
1.6	Уравнение Хилла, теория Флоке, уравнение Матье.	Уравнение Хилла и его применение к изучению устойчивости нелинейных колебаний. Теория Флоке линейных дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами. Уравнение Матье.	Методы возмущений в управлении нелинейными системами Б1.В.06
2. Практические занятия			
2.1	Основные сведения теории колебаний.	Теория колебаний – один из разделов прикладной математики. Московская, ленинградская, киевская, горьковская и другие школы по теории колебаний.	Методы возмущений в управлении нелинейными системами Б1.В.06
2.2	Свободные колебания.	Свободные колебания. Вынужденные колебания. Параметрические колебания. Самовозбуждающиеся колебания (автоколебания).	Методы возмущений в управлении нелинейными

			системами Б1.В.06
2.3	Фазовый портрет, особые точки.	Фазовый портрет. Метод фазовой плоскости. Особые точки на фазовой плоскости. Индекс Пуанкаре особой точки.	Методы возмущений в управлении нелинейными системами Б1.В.06
2.4	Вынужденные колебания, вопрос устойчивости.	Вынужденные колебания систем с нелинейной восстанавливающей силой. Уравнение Дуффинга. Явление скачка. Вопросы устойчивости	Методы возмущений в управлении нелинейными системами Б1.В.06
2.5	Уравнение Ван-дер-Поля, теория Пуанкаре-Бендиксона, метод Андронова.	Элементы теории динамических систем на плоскости. Теория Пуанкаре-Бендиксона. Предельные циклы. Метод Андронова.	Методы возмущений в управлении нелинейными системами Б1.В.06
2.6	Уравнение Хилла, теория Флоке, уравнение Матье.	Уравнение Хилла и его применение к изучению устойчивости нелинейных колебаний. Теория Флоке линейных дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами. Уравнение Матье.	Методы возмущений в управлении нелинейными системами Б1.В.06
3. Лабораторные занятия			
3.1	Основные сведения теории колебаний.	Теория колебаний – один из разделов прикладной математики. Московская, ленинградская, киевская, горьковская и другие школы по теории колебаний.	Методы возмущений в управлении нелинейными системами Б1.В.06
3.2	Свободные колебания.	Свободные колебания. Вынужденные колебания. Параметрические колебания. Самовозбуждающиеся колебания (автоколебания).	Методы возмущений в управлении нелинейными системами Б1.В.06
3.3	Фазовый портрет, особые точки.	Фазовый портрет. Метод фазовой плоскости. Особые точки на фазовой плоскости. Индекс Пуанкаре особой точки.	Методы возмущений в управлении нелинейными системами Б1.В.06
3.4	Вынужденные колебания, вопрос устойчивости.	Вынужденные колебания систем с нелинейной восстанавливающей силой. Уравнение Дуффинга. Явление скачка. Вопросы устойчивости	Методы возмущений в управлении нелинейными системами Б1.В.06
3.5	Уравнение Ван-дер-Поля, теория Пуанкаре-Бендиксона, метод Андронова.	Элементы теории динамических систем на плоскости. Теория Пуанкаре-Бендиксона. Предельные циклы. Метод Андронова.	Методы возмущений в управлении нелинейными системами Б1.В.06
3.6	Уравнение Хилла, теория Флоке, уравнение Матье.	Уравнение Хилла и его применение к изучению устойчивости нелинейных колебаний. Теория Флоке линейных дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами. Уравнение Матье.	Методы возмущений в управлении нелинейными системами Б1.В.06

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Основные сведения теории колебаний.	2	2	2	10	16
2.	Свободные колебания.	2	2	2	10	16
3.	Фазовый портрет, особые точки.	3	3	3	10	19
4.	Вынужденные колебания, вопрос устойчивости.	3	3	3	10	19
5.	Уравнение Ван-дер-Поля, теория Пуанкаре-Бендиксона, метод Андронова.	3	3	3	10	19
6.	Уравнение Хилла, теория Флоке, уравнение Матье.	3	3	3	10	19
	Итого:	16	16	16	60	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Курс предполагает отведение большого числа разделов на самостоятельную работу студентов. Приведенные источники позволяют в полной мере самостоятельно изучить студентами данные разделы.

Материал по каждой теме излагается последовательно с использованием ранее введенных определений, обозначений и доказательств. Необходима постоянная самостоятельная проработка и усвоение изложенного на занятиях материала.

Желателен просмотр материала по данной учебной дисциплине с опережением лекций с использованием рекомендуемой в данной учебной программе литературы.

Приветствуются вопросы студентов по теме учебной дисциплины и смежным вопросам в ходе аудиторных занятий.

При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения выполнять все указания преподавателей по работе на LMS-платформе, своевременно подключаться к online-занятиям, соблюдать рекомендации по организации самостоятельной работы.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Методы вычислительной математики [Электронный ресурс] / Марчук Г. И. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербурга : Лань, 2009. — 608 с. — Книга из коллекции Лань - Математика. — ISBN 978-5-8114-0892-4. — <URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=255 >.
2.	Скубов, Д. Ю. Основы теории нелинейных колебаний [Электронный ресурс] / Скубов Д. Ю. — 1-е изд. — Санкт-Петербурга : Лань, 2013. — 320 с. — Книга из коллекции Лань - Физика. — ISBN 978-5-8114-1470-3. — <URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=30203 >.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1.	Охорзин, В. А. Прикладная математика в системе MATHCAD [Электронный ресурс] / Охорзин В. А. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербурга : Лань, 2009. — 352 с. — Допущено Министерством образования и науки Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированного специалиста 160400 — «Системы управления движением и навигации» и специальности 160403 — «Системы управления летательными аппаратами». — Книга из коллекции Лань - Математика. — ISBN 978-5-8114-0814-6. — <URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=294 >.
2.	Копченова, Н. В. Вычислительная математика в примерах и задачах [Электронный ресурс] / Копченова Н. В., Марон И. А. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербурга : Лань, 2017. — 368 с. — Рек. НМС по математике Министерства образования и науки РФ в качестве уч. пособия для студентов вузов, обуч. по направлениям 510000 - "Естественные науки и математика", 550000 -

	"Технические науки", 540000 - "Педагогические науки". — Книга из коллекции Лань - Математика — ISBN 978-5-8114-0801-6. — <URL:https://e.lanbook.com/book/96854>.
--	--

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
1.	Электронная библиотека рабочих учебных программ дисциплин. Режим доступа: http://smwww.main.vsu.ru
2.	Электронный каталог Научной библиотеки Воронежского государственного университета. – Режим доступа: https://lib.vsu.ru
3.	Методы возмущений в управлении нелинейными системами ПММ 01.03.02 / Е.П. Белоусова — Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». — Режим доступа: https://edu.moodle.ru .

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1.	Гелис, Аркадий Хаимович. Устойчивость и стабилизация нелинейных систем / А. Х. Гелис, И. Е. Зубер, А. Н. Чурилов ; С.-Петербург. гос. ун-т. — СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2006. — 269 с. — Предм. указ.: с. 266-267. — Библиогр.: с. 244-265. — ISBN 5-288-04098-2, 300 экз.
2.	Анищенко, Вадим Семенович. Знакомство с нелинейной динамикой : Лекции соросовского профессора / В. С. Анищенко. — М. ; Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2002. — 143 с. : ил. — Библиогр.: с. 174-175. — ISBN 5-93972-116-8

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

Дисциплина реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий. Для организации занятий рекомендован онлайн-курс «Методы возмущений в управлении нелинейными системами 01.03.02», размещенный на платформе Электронного университета ВГУ (LMS moodle), а также Интернет-ресурсы, приведенные в п.15в.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Специализированная мебель, персональные компьютеры для индивидуальной работы с возможностью подключения к сети «Интернет» ОС Windows 8 (10), интернет-браузер (Chrome, Яндекс.Браузер, Mozilla Firefox), ПО IntelliJ IDEA Community Edition, Anaconda, Maxima, пакет прикладных программ Matlab

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Основные сведения теории колебаний.	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2	Контрольная работа Экзамен
2.	Свободные колебания.	ПК- 1	ПК-1.1 ПК-1.2	Контрольная работа Экзамен
3.	Фазовый портрет, особые точки.	ПК-1	ПК-1.1 ПК-1.2	Контрольная работа Экзамен
4.	Вынужденные колебания, вопрос устойчивости.	ПК-3	ПК-3.3	Контрольная работа Экзамен
5.	Уравнение Ван-дер-	ПК-4	ПК-4.1	Контрольная работа

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	Поля, теория Пуанкаре-Бендиксона, метод Андронова.		ПК-4.3	Экзамен
6.	Уравнение Хилла, теория Флоке, уравнение Матье.	ПК-4	ПК-4.1 ПК-4.3	Контрольная работа Экзамен
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				<i>Перечень вопросов Практическое задание</i>

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Перечень заданий, тем рефератов, тем презентаций, курсовых, докладов, лабораторных работ требования к представлению портфолио

Перечень заданий для контрольных работ

Решить задачи оптимального управления, используя теорему о необходимых и достаточных условиях оптимальности:

$$1. \int_{t_0}^{t_1} (u^2 + t^2 u) dt \rightarrow \inf, \quad B \leq u \leq A.$$

$$2. \int_{t_0}^{t_1} (u^2 - P(t)u) dt \rightarrow \inf, \quad |u| \leq A.$$

$$3. \int_0^T (u_1^2 + p(t)u_2 + u_1) dt \rightarrow \inf, \quad 0 \leq u_1 + u_2 \leq 2.$$

$$4. \int_0^1 (u^2 - t^3 u) dt \rightarrow \inf, \quad 0 \leq t \leq 1.$$

$$5. \int_0^{2\pi} (u^2 + \cos t u) \cdot dt \rightarrow \inf, \quad |u| \leq \frac{1}{2}.$$

Примерные темы курсового проекта

1. Устойчивость, пассивность и числовые образы.
2. Обобщения задачи о брахистохроне.
3. Задача об оптимальной остановке.
4. Оптимизация линейной системы со случайно меняющейся структурой.
5. Управление в среднем колебаниями системы в условиях неопределенности.
6. Исследование устойчивости уравнений Хилла и Матье.

7. Признаки устойчивости систем линейных дифференциальных уравнений с периодическими коэффициентами.
8. Исследование уравнения переноса в атмосфере.
9. Исследование устойчивости непрерывных систем специального вида.
10. Устойчивость систем линейных дифференциальных уравнений.
11. Управление процессом очистки сточных вод от органических загрязнений.
12. Разработка системы управления цепочки закупок.

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Перечень вопросов к экзамену:

1. Основные сведения теории колебаний.
2. Свободные колебания.
3. Фазовый портрет, особые точки.
4. Вынужденные колебания, вопрос устойчивости.
5. Уравнение Ван-дер-Поля, теория Пуанкаре-Бендиксона, метод Андронова.
6. Уравнение Хилла, теория Флоке, уравнение Матье.
7. Задача об оптимальном экономическом росте.
8. Оптимальная политика в области рекламной деятельности.
9. Задача с фазовыми и смешанными ограничениями. Метод штрафных функций.
10. Метод пристрелки для решения разрывных краевых задач для систем обыкновенных дифференциальных уравнений.

Перечень практических заданий

$$1. \int_{t_0}^{t_1} (u^2 + t^2 u) dt \rightarrow \inf, \quad B \leq u \leq A.$$

$$2. \int_{t_0}^{t_1} (u^2 - P(t)u) dt \rightarrow \inf, \quad |u| \leq A.$$

$$3. \int_0^T (u_1^2 + p(t)u_2 + u_1) dt \rightarrow \inf, \quad 0 \leq u_1 + u_2 \leq 2.$$

$$4. \int_0^{\frac{\pi}{2}} (u^2 - t^3 u) dt \rightarrow \inf, \quad 0 \leq t \leq 1.$$

$$5. \int_0^{2\pi} (u^2 + \cos t u) \cdot dt \rightarrow \inf, \quad |u| \leq \frac{1}{2}.$$

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

Критерии оценивания компетенции	Уровень сформированности компетенции	Шкала оценок
Полное соответствие ответа, обучающегося всем перечисленным критериям.	Повышенный уровень	Отлично
Ответ соответствует первым двум критериям.	Базовый уровень	Хорошо
Ответ соответствует первому критерию.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Ответ не соответствует первым двум критериям.		Неудовлетворительно

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме *индивидуальный опроса*. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практические задания, позволяющие оценить степень сформированности умений и навыков.

При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.